

朱岩. 郑州市某项目综合管廊中污水入廊设计浅析[J]. 净水技术, 2025, 44(7): 168-176.
ZHU Y. Analysis of wastewater integration design in the comprehensive utility tunnel of a project in Zhengzhou City [J]. Water Purification Technology, 2025, 44(7): 168-176.

郑州市某项目综合管廊中污水入廊设计浅析

朱 岩*

(同济大学建筑设计研究院<集团>有限公司,上海 200092)

摘 要 【目的】 针对我国新型城镇化进程加速过程中地下综合管廊污水入廊面临的重力流坡度匹配难、管线交叉冲突突出、高腐蚀环境耐久性不足等技术难题,文章以郑州市某新镇区建设项目为例,系统探讨污水入廊设计优化方案。【方法】 在坡度协同控制方面,通过构建管廊纵坡、污水管坡度与道路坡度的协同设计,结合有限元分析优化支墩间距与结构参数;在防腐设计上,采用污水舱独立成舱布局,以球墨铸铁管内衬环氧陶瓷涂层为核心,结合玻璃钢整体包覆检查井节点,形成“刚性基底+柔性防护”复合防渗体系;智能安全系统集成智能变频通风、分布式毒性气体监测及液位联动排水装置,形成多维度安全防护系统。【结果】 该项目实现重力流污水管道纵向坡度与设计偏差控制在 $\pm 0.1\%$ 精度以内,管廊渗漏量降至 $0.05\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,舱内单日温差波动 $\leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,甲烷体积分数控制在 1% 以内,低于爆炸阈值,硫化氢质量浓度控制在 5 mg/L 以内,显著降低污水管因腐蚀、沉降引发爆管/泄漏的事故率。【结论】 项目形成的“三维坡度耦合设计-复合防腐体系-智慧运维系统”技术体系,有效解决了郑州冲积地层管廊污水入廊的技术瓶颈,其空间适配性设计、长效防腐工艺与智慧韧性管理范式为冲积平原区地下管廊建设提供了可推广的技术范式。

关键词 综合管廊 污水入廊 坡度耦合设计 结构耐久性 智能运维

中图分类号: TU992 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-0177(2025)07-0168-09

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.07.020

Analysis of Wastewater Integration Design in the Comprehensive Utility Tunnel of a Project in Zhengzhou City

ZHU Yan*

(Tongji Architectural Design <Group> Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract [Objective] Addressing technical challenges in integrating sewage pipelines into underground utility tunnels during China's accelerated urbanization, including gravity-flow slope gradient matching difficulties, prominent pipeline crossover conflicts, and insufficient durability in highly corrosive environments. This study systematically explores optimized design solutions using a new town construction project in Zhengzhou City as a representative case. [Methods] For slope gradient cooperative control, a coordinated design harmonizing utility tunnel longitudinal slope, sewage pipe slope gradient, and road slope gradient are established, with finite element analysis optimizing support pier spacing and structural parameters. For corrosion protection, an independent sewage compartment layout employs ductile iron pipes lined with epoxy ceramic coatings combined with fiberglass-reinforced plastic-encapsulated inspection well nodes, creating a "rigid substrate + flexible protection" composite anti-seepage system. The intelligent safe system integrates variable-frequency ventilation, distributed toxic gas monitoring, and liquid-level-linked drainage devices to form a multi-dimensional protection mechanism. [Results] The project realizes that the longitudinal slope gradient of gravity flow sewage pipeline is controlled within $\pm 0.1\%$ accuracy of deviation from design. The leakage of the pipeline corridor is reduced to $0.05\text{ L}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$. Temperature fluctuation in the chamber in a single day is no more than $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Methane volume fraction is controlled within 1% , which is below the explosion threshold, and hydrogen sulfide mass concentration is controlled within 5 mg/L . The project significantly reduces the accident rate of pipe burst and leakage caused by corrosion and sedimentation of sewage pipes. [Conclusion] The developed "three-dimensional slope gradient coupling design-composite anti-corrosion system-intelligent operation and maintenance" framework

[收稿日期] 2025-05-08

[通信作者] 朱岩(1988—),男,硕士研究生,研究方向为市政基础设施规划设计,E-mail:631217613@qq.com。

effectively resolves technical bottlenecks for wastewater integration in Zhengzhou's alluvial strata utility tunnels. Its spatially adaptive design, long-term anti-corrosion techniques, and smart resilience management model provide a replicable paradigm for utility tunnel construction in alluvial plains.

Keywords comprehensive utility tunnel wastewater pipeline into utility coupling design for slope gradient structural durability intelligent operation and maintenance

随着我国城市化进程加速,地下综合管廊作为城市生命线的重要载体,其集约化建设需求日益凸显^[1-2]。污水管道作为典型的重力流管线,其入廊设计需统筹纵向坡度适配性、管线空间避让及复杂地质条件应对等关键技术。同时新型城镇化建设对管廊建设的集约化和智能化也提出了新的要求^[3-4]。

国内外已有多个城市将污水管道纳入综合管廊的案例^[5]。实践表明,污水管入廊在提升地下空间利用率的同时,面临重力流高程控制精度不足、与既有管线交叉节点标高冲突(如与给水、电力管线空间碰撞),以及高地下水位地层防腐要求严苛等共性难题^[6-7]。我国综合管廊的建设虽在试点城市持续推进,但发展相对滞后^[8],不同省份地理特征的差异也导致区域适应性难题的出现^[9]。例如在郑州这类地下水位高、地层结构复杂的平原城市,实现污水管道入廊的纵向坡度控制与结构安全平衡,是管廊综合效益的关键。

文章以国家综合管廊试点城市——郑州市某新镇区建设项目为例,系统开展综合廊道中污水舱设计优化与技术创新研究。通过构建多专业协同设计体系,重点探讨重力流管线三维坡度耦合、支墩结构参数优化、防腐体系构建及智能化运维等技术难点,形成具有区域适应性的污水管廊建设技术范式。研究成果不仅为中原城市群地下空间开发提供技术支撑,其集约化设计理念与智能化运维体系对推动城市基础设施高质量发展具有重要示范价值。

1 项目背景

郑州作为中原城市群的核心增长极,其空间辐射效应与区域协同发展能力对中部地区城镇化格局优化具有重大战略意义。作为国家地下综合管廊试点城市,郑州市自 2016 年起大力推动综合管廊建设,提升城市地下空间集约化水平。

1.1 场地现状

项目选址位于郑州市主城区某新镇区,涵盖横向与纵向 2 条城市干道的综合管廊系统工程,如图

1 所示。其中横向道路规划红线宽度为 40 m,双侧设置宽度为 15 m 的规划控制绿带,现状用地以待开发农业用地为主,仅北侧起始端分布有在建移民安置社区,其空间布局与管廊建设无空间冲突;该路段规划建设干线管廊总长约为 1 900 m,配套支线管廊约为 850 m。纵向道路为 30 m 红线宽度的新建市政道路,沿线现状均为未利用地,规划实施干线管廊长为 1 185 m,支线管廊长为 480 m,形成与横向道路互联互通的管廊网络体系。



图 1 郑州市某新镇区综合管廊设计范围

Fig. 1 Design Scope of the Utility Tunnel in a New Town Area of Zhengzhou City

工程地质勘察数据表明,拟建场地第四系孔隙潜水含水层埋深特征显著。勘察期间实测地下水位埋深约为 28.0 m,历史极值水位埋深为 23.0 m,其深埋特性对拟建工程地基处理及基坑支护设计无显著影响。

1.2 入廊管线

地下综合管廊管线选型决策需遵循多维度耦合分析原则。结合郑州市综合管廊试点城市申报情况及规划区周边综合管廊建设情况,确定采用给水、再生水、热力、电力、通信、天然气、雨水及污水 8 类市政管线协同入廊模式。根据前期收集到的规划资料、工程可行性研究(工可)的研究成果,以及各管线权属单位最新的提资,最终的入廊管线规模以及对比如表 1 所示。

表 1 入廊管线参数对比
Tab. 1 Comparison of Pipeline Parameters in Utility Tunnel

道路	管线	污水管 直径/mm	热力管 直径	给水管 直径/mm	通信 规格	10 kV/ 回路数	110 kV/ 回路数	220 kV/ 回路数	燃气管 直径/mm	再生水 管线
横向路	规划	500	2 mm×800 mm	800	18 孔	20	3	1	250	预留
	工可	600	2 mm×800 mm	500	16 孔	40	6	4	300	预留
	初步设计	600	2 mm×800 mm	400~500	4 排	20	6	4	300	预留
纵向路	规划	500	2 mm×800 mm	500	18 孔	20	3	1	250	预留
	工可	600	2 mm×800 mm	300	16 孔	40	6	4	250	预留
	初步设计	600	2 mm×800 mm	300	4 排	25	4	0	250	预留

2 综合管廊设计

2.1 综合管廊标准断面设计

研究区域管廊断面设计采用多舱室功能分区模式,具体设计如图 2 所示,详细尺寸如表 2 所示。综合管廊标准段覆土为 3.7~4.0 m,总体埋深为 7.85~12.00 m。

横向路新建综合管廊采用五舱断面结构,各舱室功能划分如下:污水舱独立敷设 DN600 重力流污水管道,实现风险源物理隔离;电力电信舱布置 10 kV 电力电缆与通信线缆分层桥架;高压电力舱专设 220 kV 与 110 kV 高压电缆支架;综合舱集中敷设热力管道、再生水管及给水管,采用支墩与支架复合支撑体系;燃气舱单独设置天然气管道,满足防爆安全间距要求。

纵向路北段管廊延续五舱配置,南段调整为四舱断面,取消高压电力舱室。其中北段高压电力舱保留 110 kV 电缆敷设功能,电力电信舱与综合舱分别维持 10 kV 电力通信同舱布置、热力与给排水管线组合敷设模式。

2.2 综合管廊平面布置

综合管廊平面布局遵循道路线形匹配与地下空间协调性原则,其平面定位需统筹道路横断面要素与地下设施功能避让需求。设计中管廊轴线与道路平面线形保持同步,同时重点控制检查井类附属设施与机动车道的空间隔离度。平面定位策略采用“绿化带优先”原则,将重力流污水检查井盖板、电力检修孔等设施集中设置在中央绿化带或侧分带区域,确保市政设施运维与交通通行互不干扰,综合管廊平面布置如图 3 所示。

横向路管廊主体结构轴线偏移道路中心线北侧 5.64 m,主要考虑因素是污水井井盖位于 3 m 侧分带内,同步整合通风竖井、逃生口及物料投料口等附

属设施在侧分带内的集约化布置。雨水管网采用双侧敷设模式,南侧雨水管布设于非机动车道覆土区域,北侧受管廊支线接口空间制约,经水力计算优化后调整至人行道结构层内。纵向路管廊位于道路中心线西侧 9 m,将污水检查井检修盖板完全置于绿化带覆盖区,既满足运维可达性要求又实现道路景观连续性保护。

3 污水舱设计

3.1 污水管道独立成舱设计

污水舱断面及管道接入设计如图 4 所示。污水舱设计需重点突破舱室功能隔离与支墩结构协同性 2 大关键难点。污水管线独立成舱的决策建立在多维度安全评估体系之上^[6],其主要技术必要性体现在:从风险控制维度分析,污水管运行过程中产生的甲烷与硫化氢混合气体浓度达到爆炸下限时,独立舱室可消除与电力舱同舱引发的连锁爆炸风险;从水质保护角度,采用抗渗混凝土物理阻断了污水渗漏对给水、再生水管道的交叉污染路径;运维管理层面,独立舱室按 2.3 m×3.0 m 的净空尺寸设计,在满足 DN600 重力流管道安装曲率半径的同时,预留 1.1 m 宽检修通道,实现带压堵漏等非开挖维修技术的作业空间需求。

支墩体系设计需开展结构-流体耦合分析,针对 DN600 钢质管道的轴向应力分布特征,通过有限元建模确定支墩间距并将管体跨中挠度控制在限值内。具体构造措施包括:采用预制混凝土支墩;顶部嵌入橡胶隔震垫;在纵坡较大区段增设抗滑凸樁结构,形成咬合式荷载传递机制。支墩高度经三维激光扫描逆向建模验证,在确保满足管底检修空间的前提下,降低舱室净空高度损失率。该设计体系通过空间参数优化,实现了管廊结构安全性与运维经济性的平衡,为冲积平原区大管径污水管廊建设提

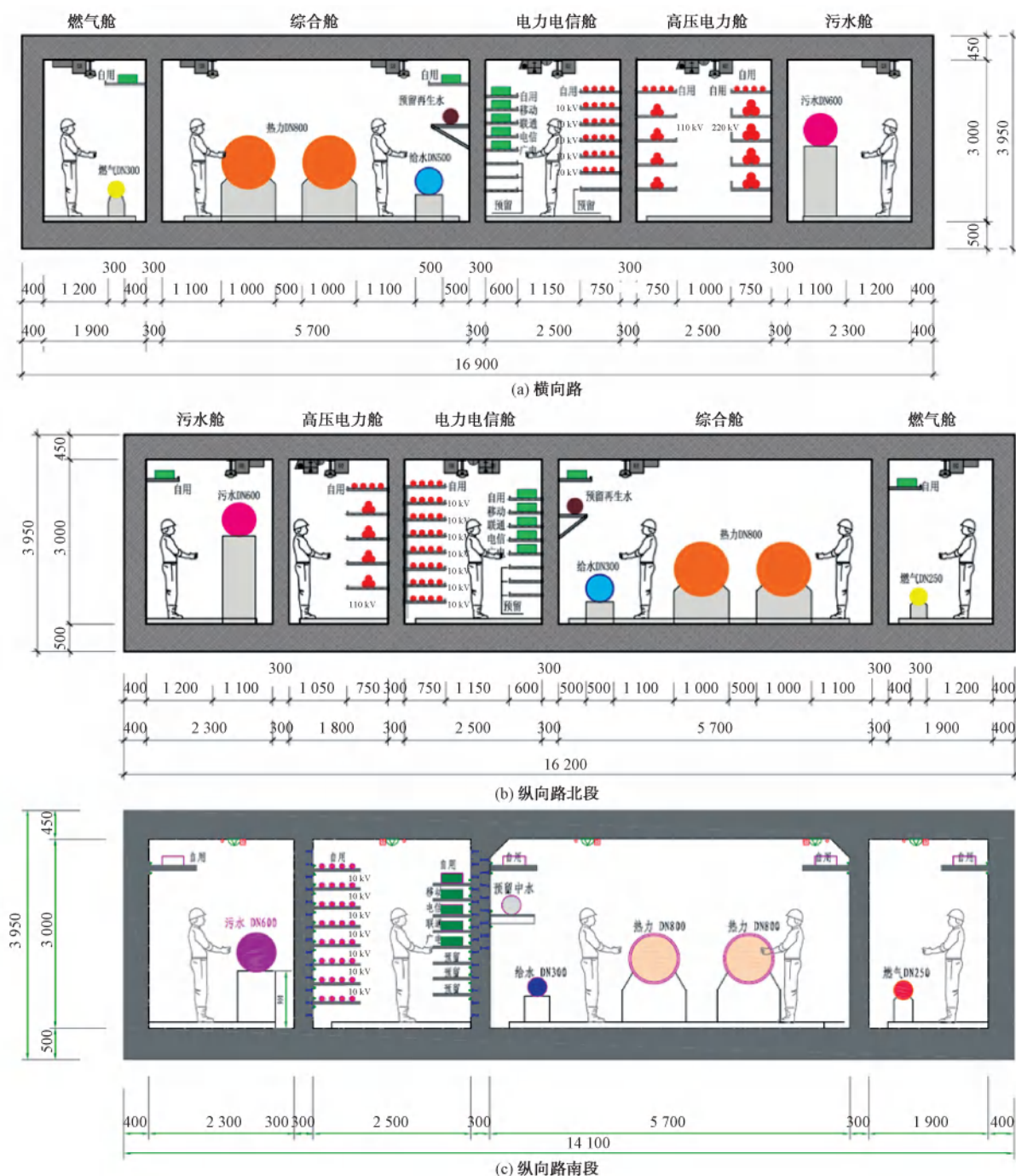


图 2 管廊标准横断面设计方案

Fig. 2 Design of Standard Cross-Section for Utility Tunnel

供了技术范式。

3.2 污水管道坡度控制

污水管道坡度控制需实现多系统耦合分析,重点解决管廊纵向坡度与道路竖向设计、地下管线敷设要求的协同性问题。污水管道纵坡设计需基于重

力流自排原理,结合管廊舱室结构高程约束,通过支墩结构参数优化调整管底高程,确保污水输送水力条件满足规范要求。本项目所在片区场区地形高差显著(纵向路南侧及横向路西侧高程为 184 m,北侧及东侧降至 170 m),最高可达 14 m,原污水专项规

表 2 不同路段综合管廊设计尺寸

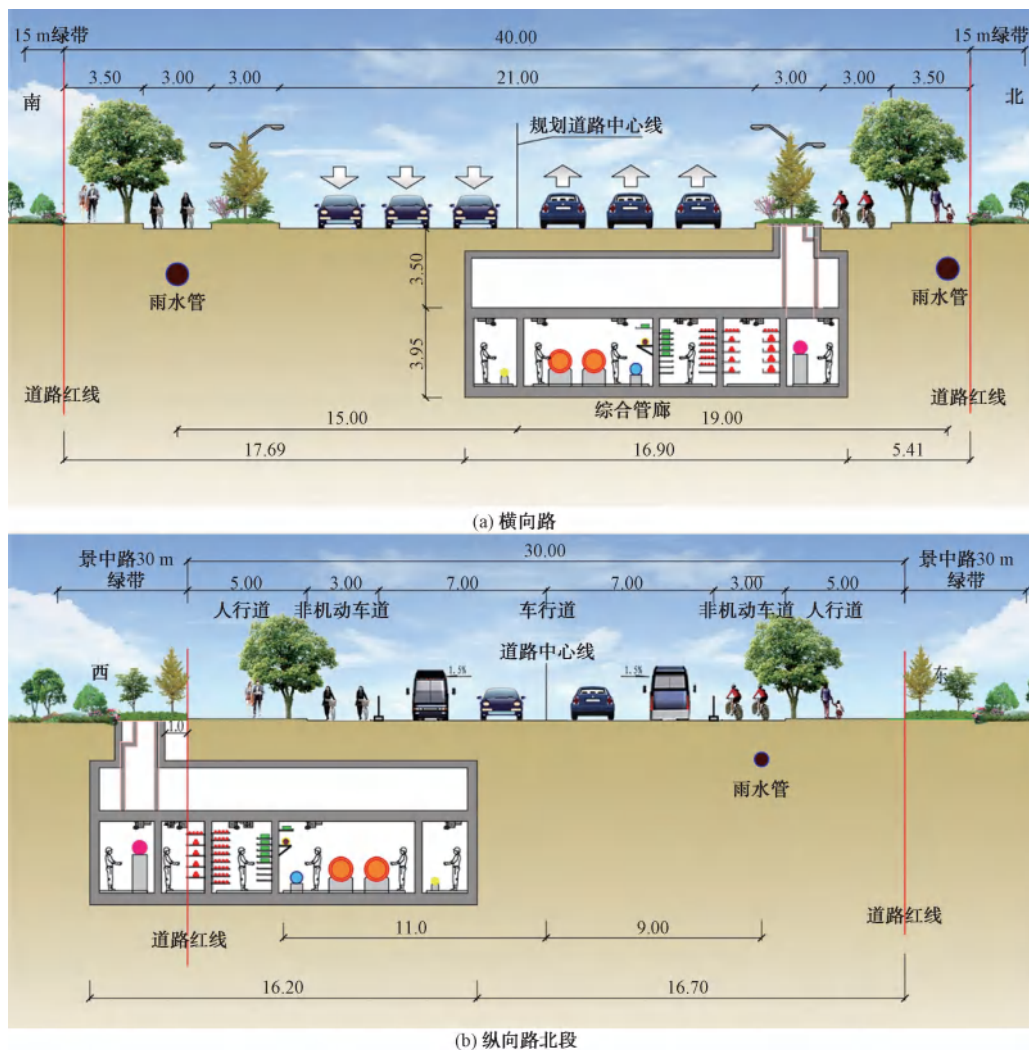
Tab. 2 Design Dimensions of Utility Tunnel for Different Road Sections

管廊位置	横向路	纵向路北段	纵向路南段
管廊断面	五舱	五舱	四舱
高压电力舱	2.5 m×3.0 m	1.8 m×3.0 m	/
电力电信舱	2.5 m×3.0 m	2.5 m×3.0 m	2.5 m×3.0 m
天然气舱	1.9 m×3.0 m	1.9 m×3.0 m	1.9 m×3.0 m
污水舱	2.3 m×3.0 m	2.3 m×3.0 m	2.3 m×3.0 m
综合舱	5.7 m×3.0 m	5.7 m×3.0 m	5.7 m×3.0 m
总结构	16.90 m×3.95 m	16.2 m×3.95 m	14.1 m×3.95 m

划管道坡度为 0.75%~2.50%，埋深为 3.5~4.5 m；根据规范及管廊特殊要求，管廊上方需满足最小覆

土为 3.5 m 以预留夹层空间，因此污水管实际埋深增至 4.8 m。

横向路管廊采用雨水-污水协同设计模式：雨水管双侧布设（DN600~DN1200），覆土为 1.2~2.2 m，埋深为 1.8~3.2 m，纵坡为 8‰~23‰；污水管单侧布设（DN500），覆土为 3.1~3.5 m，埋深为 3.6~4.5 m，坡度与雨水系统同步。纵向路管廊则采用单侧雨水管（DN600，覆土为 1.2~1.5 m，埋深为 1.8~2.1 m）与污水管（DN500，覆土为 3.2~4 m，埋深为 3.7~4.5 m）组合方案，两者纵坡均控制在 8‰~23‰。通过有限元模拟验证，该设计实现管廊纵坡、污水管坡度与道路坡度的三维空间耦合，满足《城市综合管廊工程技术规范》（GB/T 50838—



注：图中数值单位为 m。

图 3 管廊标准横断面设计方案

Fig. 3 Design Scheme of Standard Cross-Section for Utility Tunnel

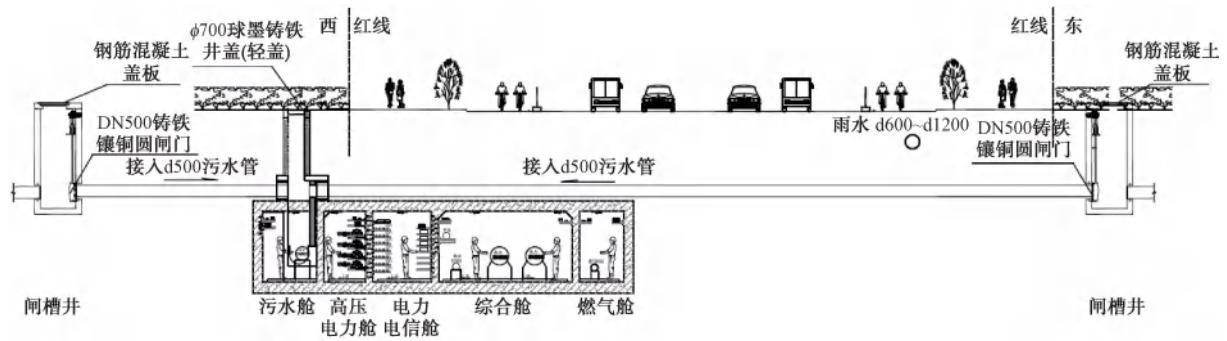


图 4 污水入廊标准横断面

Fig. 4 Standard Cross-Section of Wastewater Connected into the Utility Tunnel

2015)对重力流管线的最小水力梯度要求,同时保障夹层通风通道及逃生口净空高度需求。

3.3 污水舱防水与防腐设计

污水管廊结构设计需着重考虑管道接口密封性与节点防腐关键技术问题。在防水技术层面,采用防水混凝土(抗渗等级 $\geq P8$)结构本体防水基础上,创新形成“刚性基底+柔性防护”复合体系:主体结构迎水面涂覆 2 mm 厚的聚氨酯防水涂层,侧墙变形缝处同步设置中埋式钢边橡胶止水带与外贴式聚氯乙烯(PVC)防水板,有效应对地层沉降引起的结构变形问题。

入廊污水管采用球墨铸铁管材,管段标准长度为 6 m,内壁喷涂环氧陶瓷涂层,防腐性能较传统钢管提升 3 倍以上。通过自锚式接口系统实现连接:内层采用三元乙丙橡胶圈形成柔性密封;外层配置不锈钢锚栓实现刚性锁定,形成复合式连接结构。支墩体系按 6 m 模数布置,采用预制混凝土构件,顶部设置厚氯丁橡胶隔震层^[10]。

检查井等异形构件采用真空导入工艺成型的玻璃钢整体内衬,接缝处填充双组分硅酮密封胶,实现结构全包覆防护。工程实测数据表明,该体系使管廊渗漏量降至 $0.05 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,为高腐蚀环境下的地下管廊耐久性设计提供了重要技术参考。这些设计不仅提升了节点的可靠性,更通过标准化预制构件和模块化安装工艺,使施工效率极大提高,为复杂地质条件下的污水管廊建设提供了创新解决方案。

3.4 闸槽井与检查井设计

污水支管接入主管节点设置电动闸槽井,垂直轴线与管廊纵向中心线重合,确保截流时水流方向与闸板平面正交,避免湍流扰动。井体采用抗渗混凝土整体现浇,内置不锈钢导轨系统与暗杆式闸板

(图 5)。井盖采用双层井盖,井筒内设置格栅盖板。主管与直埋段衔接处采用防水套管柔性连接技术,套管与管廊结构接缝处注入聚硫密封胶,形成多重防水体系。采用三维激光扫描复核查验闸槽井轴线与管廊中心线的偏差,确保坡度误差 $\leq \pm 0.1\%$ 。井体周边设置集水坑,容积按 30 min 渗漏量设计,配套液位联动排水泵。当支管堵塞导致液位超限时,智能系统触发闸板关闭,同步启动关联排水泵,形成应急截流-排水闭环。

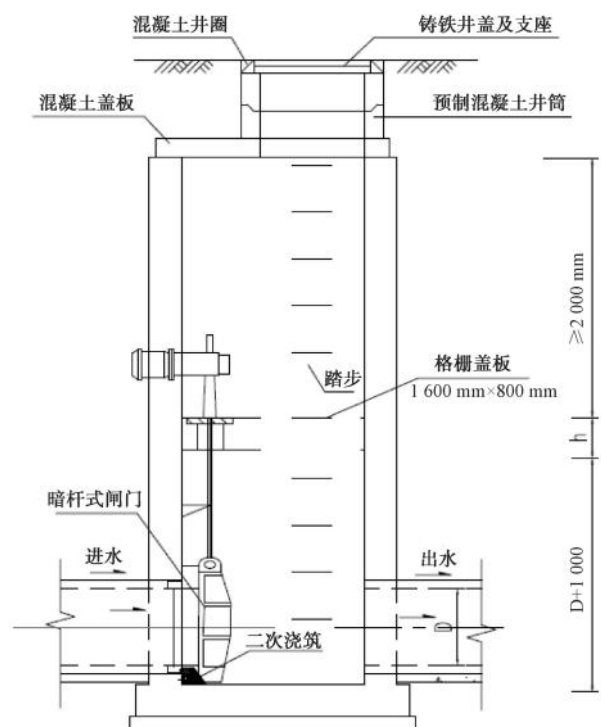
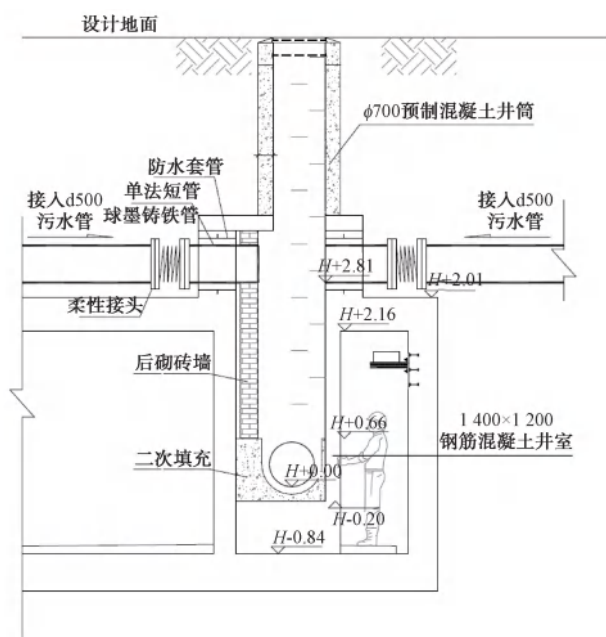


图 5 污水舱闸槽井设计

Fig. 5 Design of Sluice Gate Chamber in Wastewater Compartment

污水管道每隔一段距离设置检查井,检查井设

计如图 6 所示。本项目采用直通检查井和清扫口相结合的方式,当检查井间距超过 50 m 时,污水管道上增设清扫口,清扫口朝上。清扫口与管道之间采用法兰连接并设置可拆卸盲板,确保管道清淤作业可达性。该方案既满足了对检查井间距的要求,又避免了检查井过密设计对管廊整体性、消防和防水设计的不良影响。



注:图中数值单位为 mm。

图 6 污水舱检查井设计

Fig. 6 Design of Inspection Wells in Wastewater Chambers

3.5 污水舱通风设计

污水舱通风系统设计遵循安全效能与能源集约化双重目标,本项目采用机械排风与机械进风复合通风模式。沿管廊纵向每 200 m 设置通风区段,如图 7 所示。根据计算确定选用风机参数,保证管廊内余热、余湿、有害气体等能及时排出,并在人员巡视检修时提供适量的新鲜空气。

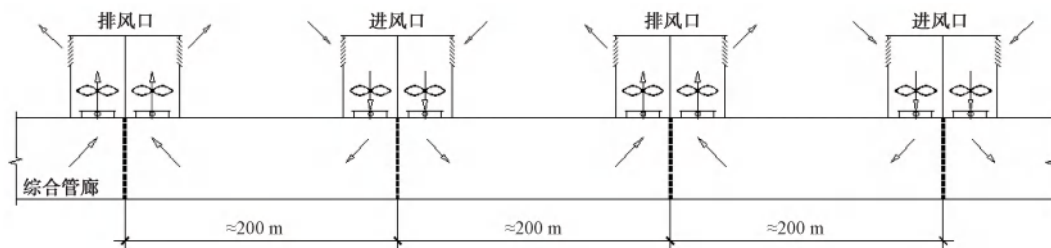


图 7 污水舱通风系统设计

Fig. 7 Ventilation System Design in Wastewater Chambers

系统智能化升级方面,引入基于模糊比例-积分-微分 (proportiona-integral-differential, PID) 算法控制的变频调速技术,通过分布式气体传感器网络实时采集舱内气体浓度数据,当甲烷、硫化氢浓度超高报警阈值时,控制系统自动切换至高速运行模式。该动态调节机制与传统定频通风系统相比可降低能耗 30% 以上。通风系统与防火门、排烟阀等消防设施深度耦合,火灾时可实现分区隔离并启动定向排烟。紧急电源系统配置双总线供电架构,由在线式不间断电源 (uninterruptible power supply, UPS) 与柴油发电机组组成,保障极端工况下通风系统持续运行 ≥ 2 h。这种多级联动的智能通风策略,不仅满足了规范要求的安全冗余度,更通过精细化控制实现了运维成本与安全效能的协同优化,为复杂地下空间的空气质量管理提供了创新解决方案。

3.6 污水舱运维便利性设计

污水舱运维便利性设计需统筹考虑全生命周期管理需求,构建多维度协同的技术体系。在前期规划中,设计充分考虑日常巡检、故障排查及应急维修的实际需求,通过人性化设计降低运维难度。针对管道支墩等关键部件,采用模块化拼装设计,通过螺栓连接替代传统焊接,使局部损坏的部件能够快速拆卸更换,单次维修时间缩短至 2 h 以内。

在管廊重点区域设置标识牌,运维人员可以获得维护信息,实现“一点一档”精细化管理。同时,可使用线上移动端运维应用软件,现场人员可实时上传管道渗漏照片或气体浓度异常数据,后台系统自动生成维修方案并推送至最近的技术团队,这种协同模式可以使问题响应速度极大提升。

此外,设计过程中需注重应急预案的实用性。在污水舱每隔 100 m 设置应急物资存储箱,内置防护装备,箱体采用防水防爆材质,确保紧急情况下快速取用。针对常见故障场景,编制标准化操作手册,

通过图文结合的方式简化处理流程,即使非专业人员也可按步骤完成基础维修。这些设计细节不仅降低了运维成本,更通过技术普惠性提升了城市基础设施的抗风险能力,为污水管廊的可持续发展提供坚实保障。

4 项目设计特色

针对区域地形高差达 14 m 的特殊情况,本项目通过优化污水管网竖向控制参数,将原设计污水主管标高降低 0.3~0.5 m,同步减少跌水井数量,实现污水重力流坡度(0.8‰~2.5‰)与管廊埋深(7.85~12.00 m)的精准适配,既保障了污水自流输送的水力条件,又维持了管廊纵向断面的连续性。

在工程技术层面,项目重点攻克 3 大技术难题:首先,通过管廊纵坡、污水管坡度与道路坡度的协同设计,通过有限元分析确定关键节点衔接参数,解决了管廊纵坡、污水管道坡度及道路坡度相互匹配的问题;其次,创新支管接入技术,在污水主管前段设置带电动闸槽的专闸槽井,采用防水套管柔性连接工艺,实现管廊内外管段的有效衔接与快速截断;最后,构建智能化监控体系,集成分布式温度传感、激光甲烷检测、硫化氢浓度检测、智能通风和智能液位联动排水等装置,建立了毒性气体浓度超限与火灾工况下的多级应急响应机制,显著增强了地下管廊系统的本质安全水平。

5 项目效益分析

工程运行后成效显著,与传统直埋管网相比,该项目使道路开挖频率显著降低,极大节省维护成本。运行监测数据显示,管廊内部环境参数稳定,夏季温度为 28~32℃、冬季温度为 15~18℃,舱内单日温差波动 $\leq 2^{\circ}\text{C}$;通过管廊污水舱复合防腐与结构监控设计,甲烷浓度始终低于爆炸下限 1%,硫化氢质量浓度控制在 5 mg/L 以内,显著降低因腐蚀、沉降引发爆管和泄漏的事故率。

通过系统性技术创新,项目形成了安全可控、智慧高效、可持续发展的污水管廊技术体系,其创新价值体现在 3 个方面:技术维度实现重力流管线坡度偏差控制在 $\pm 0.1\%$ 以内,攻克了入廊污水管水力坡度匹配难题;管理维度建立全生命周期数字孪生模型,使故障响应与故障点定位速度较传统人工巡检提高显著;社会效益维度打造城市地下生命线示范工程,预期可带动周边地块价值较管廊建设前增长

15%。该项目表明,通过多专业协同设计与管理模式创新,能够有效实现地下空间开发的经济效益、社会效益与环境效益的协同提升,为同类城市基础设施建设提供重要技术参考。

6 污水入廊未来发展趋势

随着城市地下综合管廊建设的深入推进,污水入廊技术将在多学科交叉领域实现创新突破。在材料工程层面,基于纳米复合材料和仿生智能涂层研发的新型管廊结构材料,其界面结合强度与耐化学腐蚀性能将得到显著提升,从而有效延长管廊系统的使用周期。在监测技术领域,通过无人机智能巡检系统与分布式光纤传感器的协同应用,可构建地下空间多源异构数据采集网络,实现管廊结构健康状态的实时监测与异常工况的主动预警。此外,数字孪生技术与建筑信息模型(BIM)的深度融合应用,可建立高精度的管廊运行数字映射系统,通过虚拟仿真技术对复杂水力条件下的多相流态进行数值模拟,为运维方案的优化决策提供科学依据。上述技术体系的协同创新不仅增强了地下管廊污水系统的抗风险能力与运行效能,更在降低全生命周期维护成本、提升城市基础设施韧性方面展现出显著优势,进而推动新型智慧城市构建与绿色低碳发展目标的实现。

7 结论

本项目通过郑州市新镇区综合管廊工程实践,建立了污水入廊系统技术体系。通过三维激光扫描的支墩逆向建模技术,实现管廊埋深与污水自流坡度的精准匹配,将污水管道纵向坡度与设计值的绝对偏差控制在 $\pm 0.1\%$ 以内。工程应用结果表明,采用环氧陶瓷涂层与聚氨酯防水体系后,管廊渗漏量降至 0.05 L/($\text{m}^2 \cdot \text{d}$);智能化监控系统使故障响应和故障点定位效率较传统人工巡检极大提高,显著降低运维成本和事故率。研究形成的“三维坡度耦合设计-复合防腐体系-智慧运维系统”技术模式,有效解决了平原地区地下水位波动大、地层结构复杂带来的技术瓶颈,其集约化设计使道路开挖频率降低,预期可带动周边地块增值 15%。该项目为类似地质条件城市的地下管廊建设提供了系统性解决方案,推动市政基础设施向绿色化、智慧化方向转型。

参考文献

- [1] 符威,玉旭日,龙志宏,等. 南方某城市地下综合管廊应急

- 排水设计思考 [J]. 净水技术, 2024, 43(4): 140–144, 189.
- FU W, YU X R, LONG Z H, et al. Consideration on design of underground utility tunnel for emergency drainage in a southern city[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(4): 140–144, 189.
- [2] 徐爽, 高聪聪, 王晓丽, 等. 雄安新区雄东片区综合管廊工程总体设计 [J]. 中国给水排水, 2024, 40(10): 81–85.
- XU S, GAO C C, WANG X L, et al. Overall design of utility tunnel project in Xiongdong District of Xiong'an New Area[J]. China Water & Wastewater, 2024, 40(10): 81–85.
- [3] 王灿. 污水管道纳入综合管廊设计要点分析 [J]. 工程技术研究, 2024, 9(15): 208–210.
- WANG C. Analysis on design point of sewage pipeline incorporating into comprehensive pipe gallery [J]. Engineering and Technological Research, 2024, 9(15): 208–210.
- [4] 朱洁. 因子叠加法在控规层级综合管廊规划中的应用 [J]. 给水排水, 2023, 49(s2): 803–808.
- ZHU J. The application of factor superposition method in the utility tunnel planning of regulatory plan level [J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 49(s2): 803–808.
- [5] BERGMAN F, ANDERBERG S, KROOK J, et al. A critical review of the sustainability of multi-utility tunnels for colocation of subsurface infrastructure [J]. Front Sustainable Cities, 2022, 4: 847819. DOI: 10.3389/frsc.2022.847819.
- [6] 葛晓光, 陈颖青, 谢璞, 等. 重力流污水管道纳入综合管廊设计要点分析 [J]. 隧道建设, 2024, 44(s1): 327–333.
- GE X G, CHEN Y Q, XIE P, et al. Key design points for gravity-flow sewage pipelines in utility tunnel [J]. Tunnel Construction, 2024, 44(s1): 327–333.
- [7] 岳崇峰, 李驰昊, 许江城, 等. 综合管廊污水入廊分析及工程探究 [J]. 城市道桥与防洪, 2024(4): 299–303, 306.
- YUE C F, LI C H, XU J C, et al. Analysis and engineering investigation of sewage pipeline integration in utility tunnels [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2024(4): 299–303, 306.
- [8] 卢钢, 马升平, 房宝智. 综合管廊建设前期优化控制措施分析 [J]. 给水排水, 2022, 48(s1): 988–991.
- LU G, MA S P, FANG B Z. Analysis of optimization control measures in the early stage of construction of comprehensive pipe gallery [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(s1): 988–991.
- [9] 张宇. 关于城市综合管廊建设中污水管道入廊问题的探讨 [J]. 建设监理, 2021(3): 64–66.
- ZHANG Y. On the problem of sewage pipe access in the construction of urban comprehensive pipe gallery [J]. Project Management, 2021(3): 64–66.
- [10] 刘文, 赵璐, 翟世鸿, 等. 分块预制综合管廊接缝性能研究 [J]. 混凝土, 2023(11): 210–214, 221.
- LIU W, ZHAO L, ZHAI S H, et al. Research on the joint performance of block prefabricated comprehensive pipe gallery [J]. Concrete, 2023(11): 210–214, 221.

(上接第 66 页)

- [20] PEUKERT A, SEUBERT A. Characterization of an aluminium (III)-citrate species by means of ion chromatography with inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry detection [J]. Journal of Chromatography A, 2009, 1216(45): 7946–7949.
- [21] 刘志明. 自动顶空-毛细管柱气相色谱法测定饮用水中三氯甲烷和四氯化碳 [J]. 中国卫生检验杂志, 2017, 27(15): 2146–2148.
- LIU Z M. Determination of chloroform and carbon tetrachloride in drinking water by auto headspace-capillary gas chromatography [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2017, 27(15): 2146–2148.
- [22] YAO D C, CHU W H, BOND T, et al. Impact of ClO₂ pre-oxidation on the formation of CX₃R-type DBPs from tyrosine-based amino acid precursors during chlorination and chloramination [J]. Chemosphere, 2018, 196: 25–34. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.12.143.
- [23] CHEN H, LIN T, ZHANG S S, et al. Covalent organic frameworks as an efficient adsorbent for controlling the formation of disinfection by-products (DBPs) in chlorinated drinking water [J]. Science of the Total Environment, 2020, 746: 141138. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141138.
- [24] DING S K, WANG F F, CHU W H, et al. Using UV/H₂O₂ pre-oxidation combined with an optimised disinfection scenario to control CX₃R-type disinfection by-product formation [J]. Water Research, 2019, 167: 115096. DOI: 10.1016/j.watres.2019.115096.